

劣化作用を受けたコンクリートの損傷度評価に関する研究

著者	最知 正芳
号	2873
発行年	2001
URL	http://hdl.handle.net/10097/8146

氏 名	さい ち まさ よし 最 知 正 芳
授 与 学 位	博士（工学）
学位授与年月日	平成 14 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 4 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科（博士課程）都市・建築学専攻
学 位 論 文 題 目	劣化作用を受けたコンクリートの損傷度評価に関する研究
指 導 教 官	東北大学教授 三橋 博三
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 三橋 博三 東北大学教授 杉村 義広 東北大学教授 三浦 尚

論 文 内 容 要 旨

本研究は、コンクリートの劣化（即ち、性能の低下）につながる損傷（即ち、材料的な変状）現象を確率・統計的手法を用いた新しい視点を通して捉え、劣化機構の解明に寄与することを目指すと共に、それらを巨視的なレベルにおける力学的性質と関連づけることで、従来とは異なった視点から、より適切なコンクリートの損傷度の評価法を開拓し、新しい劣化度診断技術の開発、および従来の技術の改善への貢献を図ることを目的として行なったものである。本論文は 5 つの章により構成されている。

第 1 章 緒言

論文の緒言として、研究の背景、目的、意義を述べ、研究の視点や方向性を示した。

まず、研究の発端となった背景について「社会的背景」と「技術的背景」の 2 つの視点から述べた。「社会的背景」では、コンクリート構造物の設計段階から耐久性を考慮した設計システムを構築することが求められていることを指摘し、その基礎となるコンクリートの劣化機構解明のための研究や耐久性の定量的な評価法に関する研究の必要性について述べた。また、社会資本の蓄積・増大に伴う高齢化したコンクリート構造物の増加を背景として、損傷・劣化問題への対応の必要性和、その実践のための既存コンクリート構造物の調査・診断技術の開発、および既存技術の見直しや改善の必要性を指摘した。「技術的背景」では、損傷・劣化の問題について、破壊過程を通して検討することの有用性と必要性について述べ、複雑な事象である微細ひびわれの発生・進展過程の検討に確率・統計的な解析手法を適用することの有効性について展望を述べた。

研究の目的を達成する上での課題として以下の 5 項目を掲げ、それぞれについて要点を述べると共に、研究の意義について所信を述べた。

1. コンクリートの内部に生じる微細ひびわれの定量的評価法の確立

2. 確率・統計的手法を用いてのメゾレベルにおけるひびわれ性状の把握
3. メゾレベルにおけるひびわれ性状とマクロレベルにおける力学的性状との関連の把握
4. 実験室で得られた知見と既存建築物のコンクリートの性状との対比による実際面への適用性の検証、および損傷度評価法への展開
5. 新しいコンクリートの損傷度評価法の提案

研究の対象と範囲については、劣化要因として「繰返し荷重の作用」と「凍結融解の作用」を採用したこと、およびその理由を述べ、また、研究方法の概要と論文の構成を示した。

第2章 劣化作用を受けたコンクリートのメゾレベルにおける損傷度評価

メゾレベルのコンクリートを対象として、「繰返し荷重」と「凍結融解」の2種類の劣化要因の作用を受けた場合の損傷度を評価し、劣化作用を受けたコンクリートのメゾレベルにおけるひびわれの性状を明らかにすると共に、微細ひびわれの定量化法を確立すること、および劣化過程を把握することを目的として検討を進めた。

劣化要因として、応力レベルの異なる5サイクルの繰返し圧縮荷重を受けたコンクリート供試体、および様々なサイクル数の凍結融解作用を受けたコンクリート供試体の切断面について、倍率を35倍に設定したデジタル顕微鏡による観察を行ない、メゾレベルにおけるひびわれの発生状況を調べた。

顕微鏡観察の所見より、繰返し荷重と凍結融解作用を受けた場合では、発生するひびわれの種類や性状が異なることがわかり、繰返し荷重を受けた場合については、主要なひびわれが「付着ひびわれ」であり、独立した形状を示していたため、従来のように個々の微細ひびわれの陰影をトレースすることで定量化が可能であった。そして、微細ひびわれの数と長さを定量化のパラメータとした場合、それらには一定の確率的変動特性が認められ、ひびわれの数はポアソン分布に従い、長さはほぼ対数正規分布に従うことを確かめた。微細ひびわれの数と長さを確率変数として捉えられることを確認し、それらの法則性を表わす確率分布の種類が明らかとなったことにより、微細ひびわれの発生予測への展開についても検討を行なうことが可能となり、繰返し荷重の応力レベルの上昇に伴う微細ひびわれの進展状況を捉えることができた。

一方、凍結融解作用を受けた場合の主要なひびわれは「モルタルひびわれ」であること、それらは網目状を呈して広範に展開するため、定量化にあたっては、ひびわれのトレースによる定量化法が適用できず、繰返し荷重を受けた場合とは異なった対応が必要となることがわかった。そこで、凍結融解作用を受けた場合の微細ひびわれの定量化法について検討を行ない、顕微鏡の画面に引かれた走査線と微細ひびわれとの交点の計測値に、確率・統計的性質と計量形態学的特性を応用した独自の定量化法を考案すると共に、この定量化法の有用性の確認を行なった。実際に凍結融解作用を受けたコンクリートにこの定量化法を適用し、ひびわれの発生状況を調べたところ、微細ひびわれは凍結融解サイクル作用のご

く初期に急増し、凍結融解サイクルと微細ひびわれの関係がほぼ対数曲線で表わされること、同曲線の変曲点が 30 サイクル付近と 100～150 サイクル付近に認められることを確認した。

以上の経過より、繰返し荷重と凍結融解の作用を受けたコンクリートのメゾレベルにおける微細ひびわれの性状を明らかにすることができ、また、ひびわれの定量的評価法を定めることもできた。

第 3 章 劣化作用を受けたコンクリートのマクロレベルにおける損傷度評価

コンクリートのマクロレベルにおける損傷度の評価にあたり、損傷度を適切に評価し得るパラメータを定め、その妥当性の検討と共に、同パラメータを用いて劣化要因の作用を受けたことによって生じる損傷の定量的評価を行なうことを目的として検討を行なった。

マクロレベルの損傷度の評価の際に、通常多く用いられる圧縮強度のみを一義的に評価パラメータとすることでは十分とは言えず、より広範な視点からの検討が必要と考えた。そこで、劣化要因の作用を受けたコンクリートのマクロレベルの損傷度を評価するにあたり、変形性状、特に応力－ひずみ特性の変化に注目し、応力度－ひずみ度曲線をマクロレベルの特性が包括的に表わされる媒体として捉えた。そして、劣化要因の作用を受けた場合の応力度－ひずみ度曲線の局所的な形状変化過程を明らかにすることを通して、マクロレベルの損傷度の評価について検討を進めた。

応力度－ひずみ度曲線の利用にあたっては、予めその評価法についての検討を行ない、複数の応力度－ひずみ度曲線の代表曲線である「応力度－ひずみ度平均曲線」の有効性を確認した。同平均曲線は、マクロレベルの特性値の検討において有用なツールとなった。また、応力度－ひずみ度平均曲線を用いた検討を通して、応力度－ひずみ度曲線は僅かな劣化要因の作用によっても敏感に形状を変化させることがわかり、劣化要因の作用の程度に応じて、「上に凸」の曲線から「直線状」になり、さらには「下に凸」の曲線に変化することを確認した。それらの変化の様子より、応力度－ひずみ度曲線の形状変化の検証による損傷有無の即時判定への可能性、同曲線の変曲点をもとにした損傷の大きさの推定の可能性が指摘でき、応力度－ひずみ度曲線を損傷度評価へ応用することの有効性が確認できた。

また、劣化要因の作用に伴う応力度－ひずみ度曲線の形状変化を表わすパラメータとして、同曲線を微分して得られる特性値である「ひずみ速度」が有効であり、実用的には低応力度部分におけるひずみ速度（初ひずみ速度）の有用性が高いことを確かめた。マクロレベルにおける損傷に対する敏感性としては、強度特性よりも変形特性の方が顕著であり、力学的特性値としては、圧縮強度よりも静弾性係数が損傷度評価のパラメータとして適していることを明らかにした。

さらに、顕微鏡観察を通して、圧縮強度、静弾性係数、初ひずみ速度の値の変動がメゾレベルにおける微細ひびわれと関連性があることを確認した。特に劣化要因の作用によって予め損傷を受けたコンクリートに再加力（圧縮载荷）を行なった際に認められる複雑なひずみ速度の変化は、劣化要因の作用によって予め生じていた微細ひびわれの閉塞や開口の現象を反映したものと考えられる。

また、超音波試験による検討より、非破壊的にコンクリートの性状を評価するパラメータとして広く

用いられている超音波伝播速度の測定値には、静弾性係数の測定値との良好な対応関係が認められ、超音波試験が非破壊的なコンクリートの損傷度評価に適していることを改めて確認した。

第4章 既存建築物のコンクリートの損傷度評価

実験的な検討を通して得られた前章までの知見の実際面への適用性を検証することを目的として検討を進めた。

既存の鉄筋コンクリート造建築物のコンクリートから抜き取られたコア供試体の応力度－ひずみ度曲線をもとに、応力－ひずみ特性の評価を行なった。これは予めより独自に保存・蓄積しておいたコア供試体の応力度－ひずみ度曲線のデータを利用したもので、試験の対象となったコア（総数 291 本）は、宮城県内、および同県周辺地域の 39 棟の既存鉄筋コンクリート造建築物から収集されたものである。

それらの応力度－ひずみ度曲線、および同曲線から求めた圧縮強度、静弾性係数、初ひずみ速度などの特性値について検討した結果、ほぼ半数のコアに応力度－ひずみ度曲線の形状が変化している様相が認められ、既存建築物のコンクリートにおいても、実験用に作製されたコンクリート供試体に認められたものと同様の応力度－ひずみ度曲線の形状変化が生じることが確認された。このことは、前章までに得られた知見を既存建築物のコンクリートの損傷度評価へも応用できることを示唆しているものと解釈できる。

最後に、実験用に作製されたコンクリートと既存建築物から収集されたコンクリートコア供試体から得られた知見をもとに、従来の圧縮強度のみによる一義的な評価ではなく、微細ひびわれの影響が反映されやすい変形状の評価も取り入れたコンクリートの損傷度評価法について提案した。内容としては、「損傷の有無の判定」と「損傷の程度の評価」の2要素を基本的な評価項目として捉え、前者については応力度－ひずみ度曲線の形状を基にした定性的な評価を中心とし、後者については定量的評価を行なうことを念頭に、応力度－ひずみ度曲線から得られる情報のうち、数値的な評価が可能な「初ひずみ速度」や「曲率」などをパラメータとして利用することの有効性が示された。

第5章 結び

実験的な研究を通してメゾレベルやマクロレベルのコンクリートから得られた知見、および既存建築物の実際のコンクリートから得られた知見をまとめ、それらによる総合的な考察を通して、新しい視点からの損傷度評価法の妥当性を確認すると共に、残された課題を整理し、今後の展開について展望した。

本研究によって得られた数多くの知見は、高齢化した既存鉄筋コンクリート造建築物のコンクリートの損傷度評価に係る実際的な問題に対しても資するところが大きいと考えるが、今後の課題として、高齢化した既存建築物のコンクリートと同様の品質の再現の困難さ、経年に伴う設計図書の喪失と劣化度評価のための比較用標準値の喪失の問題、高齢化したコンクリートの微細ひびわれ性状についてのデータベース構築などへの対応や取り組みの必要性を指摘した。

論文審査結果の要旨

コンクリートは主要な建設材料の一つとして広く用いられているが、地球環境への負荷低減の観点から、近年コンクリート構造物の長寿命化が強く求められるようになり、既存構造物の損傷度を適切に評価し、供用期間を延伸することが望まれている。

本研究は、コンクリートの劣化につながる損傷現象を確率・統計的手法を用いた新しい視点を通して捉え、劣化機構の解明に寄与することを目指すと共に、それらを巨視的なレベルにおける力学的性質と関連づけることで、従来とは異なった視点から、より適切なコンクリートの損傷度の評価法を開拓し、新しい劣化度診断技術の開発、および従来の技術の改善を図ることを目的として行なったもので、全編5章よりなる。

第1章は緒言であり、研究の背景、目的、および意義を述べている。

第2章では、劣化作用を受けたコンクリートのメゾレベルにおける損傷度評価について述べている。即ち、「繰返し荷重」と「凍結融解」の2種類の劣化要因の作用を受けた場合の損傷度を評価するために、微細ひび割れの定量化法を確立すると共に、劣化要因の違いによる劣化過程の変化について明らかにしている。

第3章では、劣化作用を受けたコンクリートのマクロレベルにおける損傷度評価について述べている。応力度－ひずみ度曲線の形状変化に着目し、初期勾配と劣化の程度の関係並びに同曲線の変曲点をもとにした損傷度推定の可能性を指摘し、応力度－ひずみ度曲線を損傷度評価へ応用することの有効性を確認している。更にこれらのパラメータの変化と微細ひび割れ特性との対応も考察している。

第4章は、既存建築物のコンクリートの評価について述べたもので、既存建築物のコンクリートにおいても、実験用に作製されたコンクリート供試体に認められたものと同様の応力度－ひずみ度曲線の形状変化が生じることを確認している。更に本研究で得られた知見をもとに、微細ひび割れの影響が反映されやすい変形性状の評価も取り入れた新たなコンクリートの損傷度評価法について提案している。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、コンクリートの劣化につながるひび割れ特性の詳細な観察を通して劣化現象の定量化並びに他の力学特性との対応をはかると共に、新しい視点からの損傷度評価法を提案したもので、建築学、並びにコンクリート工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。